

УДК 66.065.2:628.341

**ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РАЗДЕЛЕНИЯ
В СТАТИЧЕСКИХ АППАРАТАХ
FEATURES OF MODELING OF SEPARATION PROCESSES IN THE STATIC APPARATUS**

**Светлана Ивановна Бухкало, Валентин Николаевич Соловей, Сергей Петрович Иглин,
Svetlana Ivanovna Buhkhalo, V.N. Solovey, Sergey Petrovich Iglin**

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,
Харьков, Украина

National Technical University «KhPI», Kharkov, Ukraine
(Тел. +380932430788 e-mail: bis.khr@gmail.com)

Аннотация: Рассмотрены основные возможности эксперимента с целью выбора методов моделирования процессов коагуляции в статическом коагуляторе, а также основные принципы и механизмы дестабилизации водных дисперсных систем с помощью коагулянтов и флокулянтов. Показано, что расчет и проектирование технологической схемы коагуляции на базе статических флокуляторов требуют предварительного экспериментального определения параметров коагуляции данной дисперсной системы в модельном аппарате с мешалкой.

Abstract: This article discusses implementation of the experiment in order to choose the methods of modeling the processes of coagulation in a static coagulator. In paper are considered the basic principles and mechanisms of destabilization of water dispersed systems using coagulants and flocculants. It is shown that the calculation and design of the technological scheme of coagulation based on static demand flocculators with preliminary experimental determination of the parameters of the coagulation model system in a disperse apparatus with stirrer

Ключевые слова: коагуляция в статическом коагуляторе, расчет и проектирование, дисперсная системы.

Keywords: coagulation in a static coagulator, calculation and design, disperse systems.

Одним из эффективных методов интенсификации технологических процессов флотации, сгущения, фильтрования и, в частности, очистки промышленных сточных вод от тонкодисперсных и коллоидных механических примесей является проведение агрегации под действием коагулянтов и флокулянтов. При этом коагуляцию можно рассматривать в качестве начальной стадии процесса, заключающейся в гидролизе добавляемых коагулянтов и адсорбции растворимых ионов гидролиза на частицах, приводящая к их дестабилизации. Следует отметить, что гидролиз и адсорбция являются быстрыми процессами и контролируются скоростью смешения раствора коагулянта с обрабатываемой средой, осуществляемого при быстром перемешивании.

Флокуляция – агрегация дестабилизированных частиц при оптимальном медленном перемешивании, которую проводят в аппарате, называемом камерой хлопьеобразования или флокулятором. Флокуляция частиц в жидкости зависит от столкновения частиц, вызванного их относительным движением. Это относительное движение может быть вызвано броуновским движением и называется паракинетической флокуляцией или вызвано наличием градиента скорости и

называется ортокинетической флокуляцией. Математическая модель гомогенной флокуляции разработана на основе дифференциального уравнения коагуляции, в котором частота столкновения частиц описывается зависимостью, полученной с учетом градиента осредненной и пульсационной компонент скорости. Вследствие сложности решения уравнений такого типа, реальный процесс флокуляции имеет условие – взаимодействуют флокулы одинакового размера, что позволило получить более простые дифференциальные уравнения для диаметра флокул и концентрации первичных частиц. Математическая модель гетерогенной флокуляции, представляющей собой взаимодействие пузырьков воздуха и флокул, которое происходит при подаче насыщенной воздухом воды в выходную часть статического флокулятора, получена на базе уравнения гомогенной флокуляции и с учетом полученной зависимости для определения эффективности столкновения пузырьков и флокул. Если индивидуальные частицы движутся со скоростью потока, то при отсутствии сил взаимодействия между частицами [1–4], частота столкновений в единице объема задается уравнением:

$$T_{ij} = \frac{4}{3} G \cdot R_{ij}^3 \cdot n_i \cdot n_j \quad (1)$$

где n_i и n_j соответственно численная концентрация частиц с размером i и j , радиусом r_i и r_j , состоящая из i и j первичных частиц; G – градиент скорости в потоке с однородным сдвигом; $R_{ij} = r_i + r_j$ – радиус сечения столкновения частиц.

С учетом уравнения (1) скорость изменения концентрации частиц с размером $k = i + j$ задается выражением:

$$\frac{dn_k}{dt} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=k-i} \frac{4}{3} G \cdot R_{ij}^3 \cdot n_i \cdot n_j - \frac{4}{3} \sum_{i=1}^p \frac{4}{3} G \cdot R_{ik} \cdot n_i \cdot n_k \quad (2)$$

Первое слагаемое отвечает за скорость образования k -частиц, а второе – задает скорость расходования k -частиц при столкновении с другими частицами. Коэффициент $\frac{1}{2}$ в первом слагаемом учитывает тот факт, что каждое столкновение подсчитывается дважды: один раз для i -частицы, а второй раз – для j -частицы. Объем V_i для i -частицы в i раз больше объема первичной частицы. С учетом эффективности флокуляции уравнение (2) в безразмерной форме можно записать как:

$$\frac{dN_R}{dT} = \frac{16}{3} \sum_{i=1}^{i=k-1} \alpha_{ij} \left(\frac{R_{ij}}{r_i} \right)^3 N_i N_j - \frac{32}{3} \sum_{i=1}^p \alpha_{ik} \left(\frac{R_{ik}}{2r_i} \right)^3 N_i N_k \quad (3)$$

где $N_i = n_i / n_0$; $T = G \cdot r_i^3 \cdot n_0 \cdot t$; n_0 – начальная концентрация частиц.

Для численного решения уравнения (3) необходимо знать параметры G, α, ρ , значения которых определяются по экспериментальным данным, полученным в конкретном типе флокулятора. Ранее локальных схем очистки воды от механических примесей был предложен статический флокулятор, представляющий собой трубу (рис. 1) с расположенными в ней на определенном расстоянии решетчатыми турбулизаторами [3].

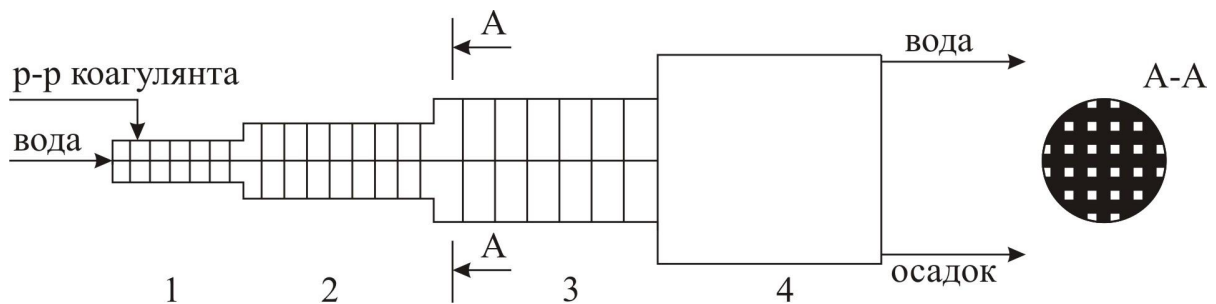


Рис. 1. Схема экспериментального флокулятора: 1 – смесительная камера; 2, 3 – двухкамерный статический флокулятор; 4 – отстойник или флотатор.

Конструктивное оформление процесса флокуляции (рис. 1) связано с тем, что агрегаты частиц, образованные в результате процесса коагуляции-флокуляции имеют четырехуровневую структуру [2]: 1) первичные частицы с размером порядка 1 мкм образуют плотные микрофлокулы с размером 10–15 мкм; 2) микрофлокулы объединяются между собой в флокулы размером 50–80 мкм; 3) флокулы в процессе флокуляции образуют агрегаты с размером 0,4–1 мм; 4) микрофлокулы формируются в смесительной камере, а флокулы и агрегаты – в двухкамерном флокуляторе при различных значениях градиента скорости, который при турбулентном режиме определяется из уравнения:

$$G = v_r' / \lambda = \sqrt{\frac{\varepsilon r}{\nu 15}} \quad (4)$$

где v_r' – относительная пульсационная скорость на расстоянии r ; ε – скорость диссипации турбулентной энергии в единице массы; λ – микромасштаб турбулентности; ν – кинематическая вязкость.

Для изотропной затухающей турбулентности используется уравнение (5):

$$\varepsilon = 15\nu(u' / \lambda)^2 \quad (5)$$

где u' – среднеквадратичная пульсационная скорость.

В переходном или ламинарном режиме используется среднеквадратичный градиент скорости:

$$\overline{G} = \sqrt{\varepsilon / \mu}; \quad \overline{\varepsilon} = (0,1 \div 0,2)\varepsilon_*; \quad \varepsilon_* = C(\omega^3 / (\pi \cdot l)), \quad (6)$$

где $\overline{\varepsilon}_*$, $\overline{\varepsilon}$ – соответственно общая и эффективная средняя скорость диссипации; C – коэффициент сопротивления решетки; ω – средняя скорость в флокуляторе; l – расстояние между решетками-турбулизаторами.

Константа k для расчетов определяется по углу наклона линейной зависимости на графике $\ln(n/n_0) = f(t)$. По найденному значению k рассчитывается $\alpha = k \cdot \pi / (4G \cdot \Phi)$. Максимальный размер флокул P зависит от градиента скорости $P = \alpha G$. Определяется он путем измерения размеров фрагментов агрегатов, которые образуются при дроблении полностью сформировавшихся флокул при ступенчатом увеличении градиента скорости.

На основании проведенных исследований показано, что повышение эффективности коагуляционной очистки воды может быть достигнуто путем применения статических флокуляторов. Применение таких аппаратов, в свою очередь, позволит сократить расход коагулянта и создать простые по конструкции коагуляционные установки с флотационным отделением флокул от воды. Практическая ценность работы может быть повышена путем комплексного решения поставленных целей, связанных с разработкой технологической линии очистки загрязненной воды.

Список литературы

1. Higashitani, K., Ogawa, R., Hosokawa, G., Matsuno, Y. Kinetic theory of shear coagulation for particles in a viscous fluid. J. Chem. Engng. Japan, 1982, 15, 299–304.
2. Соловей В.Н. Разделение водных дисперсий коагуляцией в статических аппаратах. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Харьков.: НТУ «ХПИ», 1990. 17 с.
3. Бухкало С.И., Соловей В.Н. Экспериментальные методы моделирования процесса коагуляции в статическом коагуляторе // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. Вип. 44 (1153). – С. 75–78.
4. Шакиров Ф.Ф. Интерполяционные многочлены в математическом моделировании процессов очистки сточных вод / Ф.Ф. Шакиров, М.Г. Ахмадиев, И.Г. Шайхиев // XVIII межд. н. конф. Математические методы в технике и технологиях. Сб. трудов, Казань, 2005, т. 4, с. 35–37.